



INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE EN INFORMATIQUE ET EN AUTOMATIQUE

***Résultats préliminaires sur le comportement de TCP
au dessus d'une couche à services différenciés
équivalents***

Mathieu Goutelle, Benjamin Gaidioz et Pascale Primet (INRIA Reso, LIP)

N° 4634

novembre 2002

THÈME 1

A large blue rectangle occupies the lower half of the page. Overlaid on it is a large, light gray stylized 'R'. To the right of the 'R', the words 'Rapport de recherche' are written in a white serif font. A horizontal gray brushstroke is positioned below the text.

**Rapport
de recherche**

Résultats préliminaires sur le comportement de TCP au dessus d'une couche à services différenciés équivalents

Mathieu Goutelle, Benjamin Gaidioz et Pascale Primet (INRIA Reso, LIP)

Thème 1 — Réseaux et systèmes
Projet Reso

Rapport de recherche n° 4634 — novembre 2002 — 10 pages

Résumé : Le modèle de Services Différenciés Équivalents (EDS) propose un compromis entre délai et taux de pertes afin que les classes de service aient des performances globalement équivalentes. Même si les caractéristiques du réseau ainsi obtenu peuvent être définies précisément, les performances de bout en bout sont plus difficiles à extraire. Dans ce rapport, nous présentons une évaluation théorique et pratique du protocole TCP sur une plate-forme de test implémentant EDS .

Mots-clés : différenciation proportionnelle, Services Différenciés Équivalents, qualité de service IP, Comportement de TCP.

Ce travail est supporté en partie par le projet européen DataTAG (IST-2001-32459).

Preliminary results about the behavior of TCP over an Equivalent Differentiated Services layer

Abstract: The Equivalent Differentiated Services (EDS) provide a trade-off between delay and loss rate, in order to keep the global performances of the *DiffServ* classes equivalent. Even if the network characteristics can be well defined, the end-to-end performances are more difficult to extract. In this report, we present a theoretical and practical evaluation of the TCP protocol on an EDS test platform.

Key-words: proportional differentiation, Equivalent Differentiated Services, IP quality of service, TCP behavior.

1 Introduction

L'étude d'Internet et de ses évolutions pour prendre en compte et satisfaire simultanément les attentes multiples des utilisateurs fait partie des domaines de recherche majeurs de ces dernières années. Les applications de *streaming*, les applications communautaires thématiques comme l'échange de musique en ligne, les jeux distribués, mais aussi les architectures de partage de ressources et de calcul distribué sont des exemples de ces nouvelles applications. Ils se traduisent par des besoins en terme de qualité de service radicalement différents des besoins des données informatiques traditionnelles, mais également très hétérogènes.

Dans l'Internet actuel, qui a l'ambition d'être le réseau universel par excellence, la plus grande lacune est sans conteste l'absence de garanties de performances ou de classes de services parfaitement adaptées aux différents types de média et d'applications. De nombreuses propositions d'architectures et de protocoles pour Internet ont été faites ces dernières années, parmi lesquelles deux — *IntServ* et *DiffServ* — ont émergé. Cependant, aujourd'hui, il apparaît que la première n'est pas adaptée aux réseaux de grande taille et n'est donc pas déployée dans Internet.

Le concept de différenciation de services, comme dans l'architecture *DiffServ*, semble être en revanche plus prometteur, car moins ambitieux. Il nécessite néanmoins des mécanismes de contrôle d'accès et d'administration. C'est pourquoi un modèle comme *Equivalent Differentiated Services* (EDS) [1] qui propose un compromis entre délai et taux de pertes pour chaque classe afin qu'elles restent équivalentes en terme de performances globales, est une proposition qui cumule de nombreux avantages pour faire évoluer la couche IP. Or, les applications dialoguent avec les couches de transport et principalement la couche TCP, hébergée par les équipements des utilisateurs. Cette couche est particulièrement adaptée à l'architecture actuelle (*best effort*) d'Internet en général et de IP en particulier. Quelles sont alors les performances de TCP au dessus d'une couche réseau implémentant EDS ? Pour répondre à cette question, il est nécessaire d'étudier TCP sur un réseau implémentant le modèle EDS.

Après avoir présenté le modèle EDS (section 2), nous étudions à la section 3 d'abord théoriquement puis pratiquement le comportement de TCP sur une plateforme de test. Finalement, nous donnons les conclusions et perspectives à la section 4.

2 Modèle de l'équité différenciée

Le succès d'Internet est dû à de nombreux facteurs dont l'équité de traitement : le service offert ne fait pas l'objet d'une facturation puisque chaque paquet est traité de façon équivalente, sans contrôle d'admission ni politique globale de rejet des paquets en cas de congestion (seuls des critères locaux, déterministes ou non, s'appliquent dans ce cas). Les divers modèles exposés précédemment vont à l'encontre de cette philosophie puisqu'ils établissent une hiérarchie de services. En effet, cette philosophie s'appuie sur les principes suivants :

- L'utilisation de la couche IP ne fait l'objet d'aucune facturation, puisque tous les utilisateurs ont accès au même service ;
- Le réseau ne procède pas à aucun contrôle d'admission. C'est à l'utilisateur de « jouer le jeu ». Cette particularité est à l'origine du déploiement rapide d'Internet, puisque c'est un gage de simplicité de la couche réseau ;
- La politique de gestion des files d'attente est *locale* au niveau de chaque équipement du réseau. Outre le fait que cela simplifie les traitements de ces équipements, les traitements globaux des flux (de bout en bout) sont ainsi rendus impossibles.

Pour rester plus proche de ce mode de fonctionnement tout en offrant des services différenciés sans facturation, ni contrôle d'admission, ni politique globale d'ordonnancement dans les routeurs, l'équipe ReSO a proposé et développé le modèle de la *différenciation équitable* [1]. Dans ce modèle, on assure des garanties relatives (pour éviter le contrôle d'admission) aux différentes classes de flux définies, sans établir de hiérarchie véritable entre elles (pour ne pas avoir à facturer les services).

La proposition faite dans [1, 2] tente de concilier chacune des contraintes : proposer une architecture offrant des services différenciés, sans aller à l'encontre des principes d'Internet. Pour cela, le modèle EDS définit un nombre N de classes de services ($N \geq 2$) offrant des caractéristiques différentes en termes de délai et de taux de pertes. À chaque classe i sont associés deux paramètres constants, un coefficient de délai δ_i et de taux de pertes λ_i . Ces paramètres sont utilisés au niveau des routeurs pour leur politique d'ordonnancement et de rejet des paquets, de telle sorte qu'à tout moment, les paramètres locaux des classes, calculés par le routeur (délai et taux de pertes), respectent les rapports entre ces coefficients. Si l'on note d_i et p_i les valeurs locales des délais et taux de pertes de la classe i observés pendant une durée τ fixée, on doit avoir :

$$\forall 1 \leq i, j \leq N, \quad \delta_i d_i = \delta_j d_j \quad \text{et} \quad \lambda_i p_i = \lambda_j p_j \quad (1)$$

Pour assurer l'équité entre les N classes, les paramètres devront vérifier :

$$\forall i \neq j, \delta_i < \delta_j \quad \text{et} \quad \lambda_j < \lambda_i \quad (2)$$

Par exemple, sur la figure 1, le paquet appartient à une classe au taux de pertes élevé. Il reste en revanche moins longtemps dans le routeur.

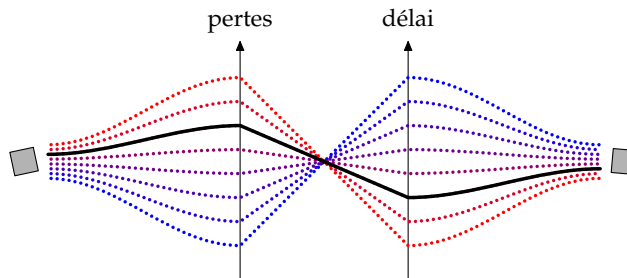


FIG. 1 – Le modèle EDS avec huit classes

Une telle architecture offre aux applications un large éventail de services proposant des caractéristiques bien différentes. Les applications peuvent alors choisir de marquer leur flux selon une classe déterminée en fonction des attentes. Si l'état du réseau vient à changer, ce n'est pas au routeur de modifier les paramètres de flux puisque les relations entre les classes sont statiques. C'est à l'application de s'adapter et faire évoluer son choix de classes si besoin.

3 Évaluation de la couche de transport sur EDS

Maintenant que la couche réseau peut proposer des services équivalents mais offrant des performances en terme de délai et pertes différents, nous allons nous intéresser aux performances de TCP sur EDS en fonction de la classe utilisée. Le modèle EDS ne prévoit pas en effet d'attribuer telle ou telle classe à un protocole ou un type d'applications particuliers. Il reste néanmoins important de connaître l'influence pour TCP d'appartenir à une des classes EDS, pour par exemple pouvoir déterminer une classe privilégiée pour TCP et d'autres applications et ainsi dresser une sorte de correspondance entre les classes et les applications pouvant bénéficier de ces classes.

L'évaluation de TCP va suivre le schéma suivant : les deux sources émettent du trafic en direction du récepteur. Le routeur utilise l'implémentation de EDS présentée dans [5]. L'ordonnanceur EDS est configuré avec huit classes, une limite de 200 paquets simultanés et un historique de 1000 paquets. Chaque source émet dans les huit classes pour éviter l'effet de rafale propre à TCP qui pourrait gêner l'ordonnanceur (absence de trafic dans une classe pendant un instant par exemple). Le trafic traversant le routeur est ainsi plus « réaliste ». Les coefficients pour chaque expérience sont rappelés dans le tableau 1, ainsi qu'un ordre de grandeur des valeurs du délai et du taux de pertes de chaque classe. L'expérience sera également réalisée en supprimant la différenciation au niveau du routeur, tous les coefficients étant pris égaux à 1.

	Classes	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8
Faible différenciation	δ_i	10	11	12	13	14	15	16	17
	délai (ms)	50	45	42	38	36	33	31	29
	λ_i	17	16	15	14	13	12	11	10
	pertes (%)	25	26	28	30	32	35	38	42
Différenciation moyenne	δ_i	1	2	3	4	5	6	7	8
	délai (ms)	100	50	33	25	20	17	14	13
	λ_i	8	7	6	5	4	3	2	1
	pertes (%)	11	13	15	18	23	30	46	91
Forte différenciation	δ_i	1	3	6	9	12	15	18	21
	délai (ms)	150	50	25	17	13	10	8	7
	λ_i	21	18	15	12	9	6	3	1
	pertes (%)	5	6	7	8	11	17	33	100

TAB. 1 – Définition des différenciations utilisées pour l'évaluation de TCP

Cette expérimentation est très importante pour comprendre le comportement de TCP sur EDS. En effet, TCP étant un protocole relativement complexe et très dynamique, il est difficile de prévoir son comportement dans chacune des classes. Théoriquement, il est possible d'avancer deux hypothèses à la vue de la définition du protocole. La première est que le délai influe sur la dynamique de TCP puisqu'il ralentit le retour des acquittements. Il ralentit donc l'augmentation de la fenêtre, mais également retarde les réactions de TCP face aux congestions. D'un autre côté, le taux de pertes est un paramètre important lorsque l'on mesure les performances de TCP, puisqu'une perte est interprétée comme une congestion et implique beaucoup de réactions de TCP (diminution de la fenêtre par exemple). Bref, il est difficile de prévoir exactement quelle classe va vraiment être pénalisante pour TCP et au contraire quelle est la classe qui va lui apporter le meilleur compromis délai-pertes. C'est pourquoi nous allons, avant de réaliser les expérimentations, effectuer une étude théorique du comportement de TCP en terme de débit, que nous validerons ensuite par l'expérience.

3.1 Considérations théoriques

Dans [3], l'auteur expose une modélisation des performances de TCP par la formule suivante donnant une expression du débit \mathcal{D} accessible en fonction des caractéristiques du réseau :

$$\mathcal{D} = \frac{m}{d} \frac{C}{\sqrt{p}}$$

où : m est la taille maximale des segments TCP (MSS) ;

d est le temps d'aller-retour des paquets entre l'émetteur et le récepteur ;

p est la probabilité de pertes d'un paquet, supposée constante. On suppose que le lien va approximativement acheminer $1/p$ paquets, suivi par un paquet perdu ;

C est une constante qui dépend de l'implémentation de TCP et de la modélisation du taux de pertes considérées.

Cette modélisation est valide dans le cas où les performances de TCP sont régies seulement par l'algorithme d'évitement de congestion (impact négligeable de la phase de démarrage lent) et d'un profil de pertes périodiques. En calculant l'expression du rapport des débits obtenus par la classe i par rapport à la classe 1, il vient :

$$\frac{\mathcal{D}_i}{\mathcal{D}_1} = \frac{d_1 \sqrt{p_1}}{d_i \sqrt{p_i}} \quad (3)$$

Or, l'ordonnanceur EDS assure à la traversée du routeur la différenciation entre les classes en fixant les rapports des délais et taux de pertes selon les formules suivantes :

$$\forall 1 \leq i, j \leq N, \quad \frac{d_i}{d_j} = \frac{\delta_j}{\delta_i} \quad \text{et} \quad \frac{p_i}{p_j} = \frac{\lambda_j}{\lambda_i} \quad (4)$$

On peut alors réécrire l'équation (3) en fonction des coefficients (δ_i) et (λ_i) :

$$\frac{\mathcal{D}_i}{\mathcal{D}_1} = \frac{\delta_1 \sqrt{\lambda_1}}{\delta_i \sqrt{\lambda_i}} \quad (5)$$

Compte tenu des propriétés des coefficients dans EDS (cf. équation (2)), on peut affirmer que les coefficients $(\delta_i)_i$ sont en ordre croissant et $(\lambda_i)_i$ en ordre décroissant. Moyennant le fait de diviser les coefficients $(\delta_i)_i$ par $\delta_N = \max_i(\delta_i)$ et $(\lambda_i)_i$ par $\lambda_1 = \max_i(\lambda_i)$, on peut assurer que ces coefficients sont compris entre 0 et 1 sans modifier la différenciation. En posant $\alpha = \delta_1$ et $\beta = \lambda_N$, on a alors les propriétés suivantes :

$$\alpha = \delta_1 \leq \delta_2 \leq \dots \leq \delta_N = 1 \quad (6)$$

$$1 = \lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_N = \beta \quad (7)$$

On note désormais $x = \delta_i$ le coefficient en délai de la classe étudiée. On peut alors exprimer les rapports entre coefficients uniquement en fonction de x , α et β . En effet, il est possible de donner une expression du coefficient λ_i en fonction de x , comme le montre la figure 2. Bien entendu, nous avons choisi ici des évolutions linéaires des coefficients. Des lois plus complexes (affines par morceaux, exponentielles, continues ou non) peuvent également être mises en œuvre. Dans notre cas, il vient pour les rapports des coefficients :

$$\frac{\delta_1}{\delta_i} = \frac{\alpha}{x} \quad (8)$$

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_i} = \frac{1}{\lambda_i} = \frac{1}{1 + \beta - x} \quad (9)$$

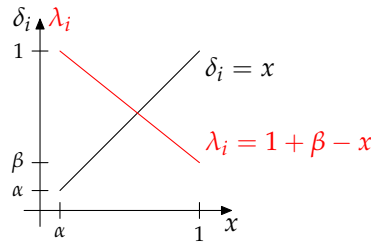


FIG. 2 – Loi donnant les coefficients de l'ordonnanceur en fonction du coefficient en délai

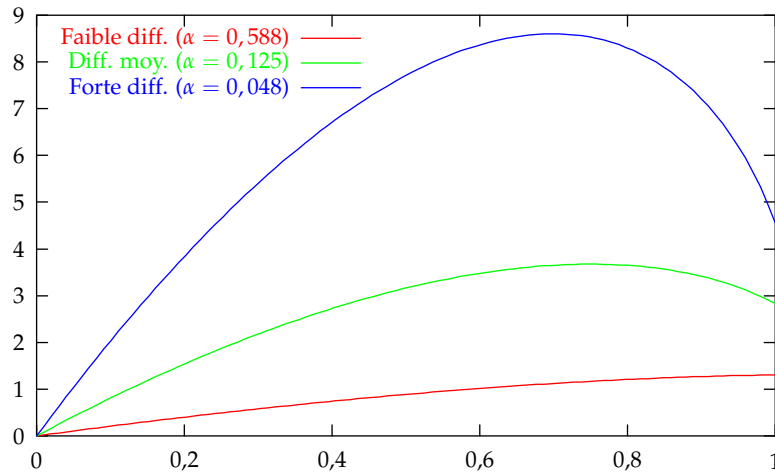
En supposant également, comme c'est le cas dans notre expérience, que $\alpha = \beta$, on peut exprimer le rapport des débits d'une classe et de la classe 1 en fonction de x et α uniquement. Il vient en effet après simplification :

$$\frac{\mathcal{D}}{\mathcal{D}_1}(x) = \frac{x}{\alpha} \sqrt{1 + \alpha - x} \quad (10)$$

Pour les trois expériences menées, α prend les valeurs suivantes :

- faible différenciation : $\alpha = \frac{10}{17} \approx 0,588$;
- différenciation moyenne : $\alpha = \frac{1}{8} \approx 0,125$;
- forte différenciation : $\alpha = \frac{1}{21} \approx 0,048$.

On peut alors tracer les trois courbes de la figure 3 correspondant au rapport des débits des classes et de la classe 1 en fonction de x pour chacune des différenciations choisies.

FIG. 3 – Évolution du rapport des débits en fonction de x et de la différenciation

Le coefficient qui donne le débit le plus important peut être calculé comme étant la valeur de x rendant maximum le rapport des débits. Pour la valeur \bar{x} de x qui annule la dérivée du rapport, le calcul donne :

$$\frac{\partial}{\partial x} \frac{\mathcal{D}}{\mathcal{D}_1}(x) = 0 \quad \Longleftrightarrow \quad \bar{x} = \frac{2}{3}\alpha + \frac{2}{3} \quad (11)$$

Pour les trois expériences menées, \bar{x} et le rapport maximal en débit prennent les valeurs suivantes :

- faible différenciation : $\bar{x} \approx 1,059$ et $\frac{\mathcal{D}}{\mathcal{D}_1} \approx 1,31$;
- différenciation moyenne : $\bar{x} \approx 0,750$ et $\frac{\mathcal{D}}{\mathcal{D}_1} \approx 3,68$;
- forte différenciation : $\bar{x} \approx 0,668$ et $\frac{\mathcal{D}}{\mathcal{D}_1} \approx 8,66$.

Le coefficient en délai \bar{x} ne correspond à aucune classe pour la première expérience ($\bar{x} > 1$) et à la classe 6 pour les deux dernières. On peut donc s'attendre à avoir les meilleures performances pour la classe 8 avec une faible différenciation et pour la classe 6 avec une différenciation moyenne et forte.

On peut affiner la modélisation en tenant compte du délai ajouté par l'environnement du routeur (délai de transmission sur le lien physique, délai ajouté par des routeurs non EDS, etc.). Ceci va ajouter une constante τ à chaque délai : $\forall 1 \leq i \leq N$, $d'_i = d_i + \tau$. Nous supposons que cela ne modifie pas le taux de pertes. Pour

obtenir une nouvelle expression du rapport des débits, nous allons écrire τ sous la forme $\tau = \eta d_1$ (ce qui est toujours possible). Il vient alors pour le rapport des délais :

$$\frac{d'_i}{d'_1} = \frac{d_i + \tau}{d_1 + \tau} = \frac{\alpha/x + \eta}{1 + \eta} \quad (12)$$

$$\text{d'où : } \frac{\mathcal{D}}{\mathcal{D}_1}(x) = \frac{(1 + \eta)x}{\alpha + \eta x} \sqrt{1 + \alpha - x} \quad (13)$$

Cette nouvelle équation montre alors que, dans une situation réelle où le ou les routeurs EDS sont insérés dans un réseau non *DiffServ* (sans différenciation), les performances sont détériorées d'une part par l'apparition d'un délai supplémentaire, ce qui est compréhensible. D'autre part (cf. figure 4), la classe obtenant les meilleures performances est décalée vers les faibles coefficients en délai et se rapproche de la classe 1, donc des classes ayant le plus faible taux de pertes. On peut imaginer en effet que l'influence de la différenciation relativement au délai « extérieur » devient faible lorsque ce dernier grandit. TCP a alors intérêt à utiliser les classes à faible taux de pertes pour obtenir de bonnes performances. Si la différenciation est plus forte, cet effet est retardé car l'influence de la différenciation en délai reste importante relativement au délai extérieur.

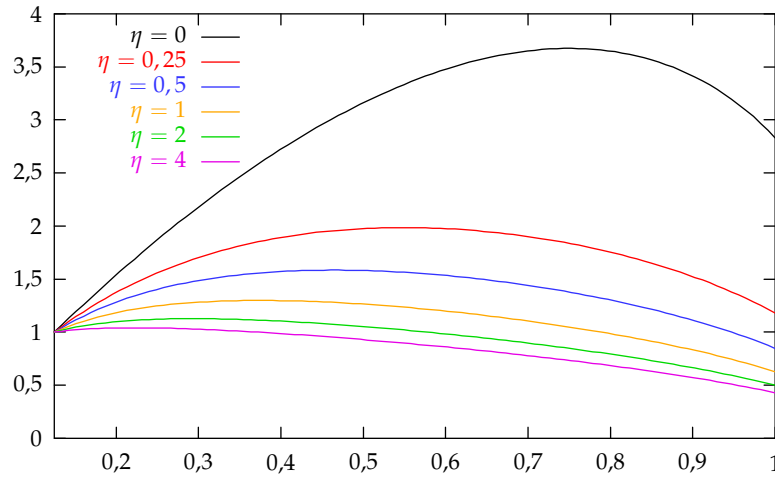


FIG. 4 – Évolution du rapport des débits en fonction de x et du délai ajouté par l'environnement pour $\alpha = 0,2$

Il est alors plus ou moins clair que la complexité de TCP induit une dépendance non triviale de ses performances en fonction des paramètres de EDS. Cette étude théorique permet d'avoir une idée du comportement de TCP sur EDS, des performances qu'il peut obtenir en terme de débit accessible et de la classe qui lui convient le mieux. On s'attend en particulier à obtenir les meilleures performances pour la classe 8 en pratiquant une faible différenciation et pour la classe 6 lors des deux autres expériences. Si un délai supplémentaire est ajouté par l'environnement du routeur, la classe la plus favorable à TCP se déplace vers les classes à plus faible taux de pertes selon l'importance relative du délai ajouté par le routeur par rapport au délai dû à l'environnement. Il est évident néanmoins que cette modélisation de TCP sur EDS ne prend pas en compte de nombreux mécanismes qui peuvent changer de façon importante ces performances.

3.2 Expérimentation pratique

La plate-forme de test sera constituée de trois machines identiques sous Linux, connectées autour d'un routeur sous Linux également. La présence d'un routeur « actif » est une nécessité pour développer les mécanismes de qualité de service, les routeurs matériels existants ne les intégrant pas ou peu ou sous des formes propriétaires. Les machines sont à base d'Athlon™ 850 MHz avec 128 Mo de mémoire vive, tournant sous Debian GNU/Linux 3.0 *woody* (noyau 2.4.18). Elles disposent d'interfaces réseaux identiques (driver 3c59x), en mode 100 Mbit/s *Full Duplex*. La topologie des machines est explicitée à la figure 5.

Les expériences qui suivent vont permettre à la fois de valider le modèle précédent et de le nuancer sur certains points. Elles consistent à injecter du trafic dans les huit classes pendant 30 s à travers le routeur EDS, à partir des sources *A* et *B* en direction de *C*. La durée de l'expérience est suffisante pour pouvoir négliger la phase de démarrage lent, comme pour la modélisation. L'expérience a été réalisée cent fois de suite, pour pouvoir

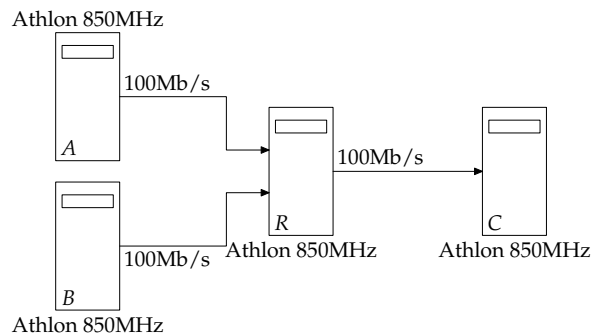


FIG. 5 – Topologie de la plate-forme expérimentale

calculer une moyenne et exclure tout « accident » d'observation. Les résultats en terme de débit (moyenne sur les cents tests) pour chaque classe et pour chaque différenciation sont présentés sur l'histogramme de la figure 6.

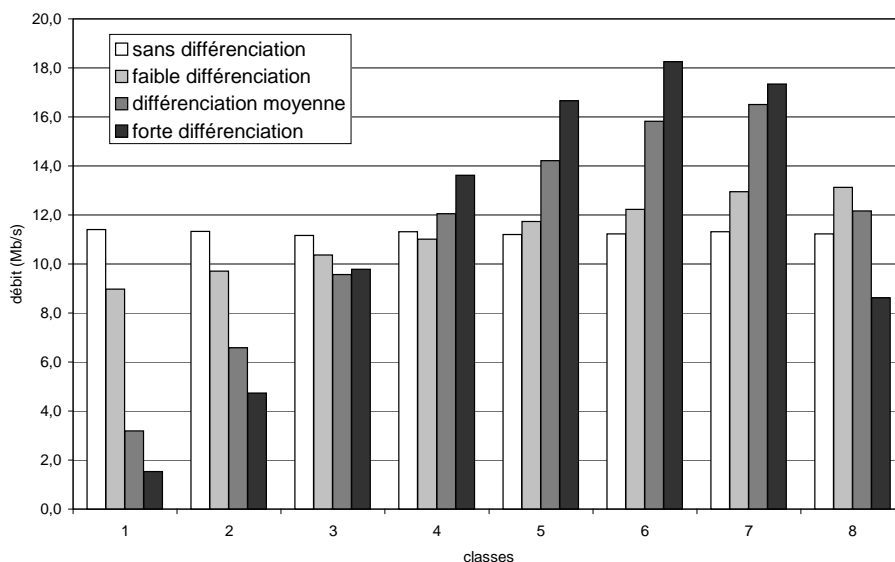


FIG. 6 – Expérimentation de TCP sur EDS — Mesure du débit

Nous découvrons donc à la figure 6 que le comportement de TCP sur EDS est le suivant : TCP est particulièrement sensible au délai plutôt qu'au taux de pertes. On observe en effet des débits supérieurs dans les classes à coefficients élevés en délai et faibles en taux de pertes, donc les classes rapides mais plus défavorisées pendant la congestion. Seule la dernière classe présentant le taux de pertes le plus élevé ne permet pas à TCP d'obtenir de bonnes performances.

Les mécanismes de TCP (SACK et *Fast Recovery*/*Fast Retransmit* notamment) sont particulièrement adaptés à la gestion des pertes afin de réagir au mieux, en affectant le moins possible les performances en terme de débit. TCP est en revanche bien moins adapté pour atteindre et conserver de hautes performances sur des liaisons ou dans des classes présentant un fort délai, car le mécanisme de rétroaction entre l'émetteur et le récepteur est alors fortement ralenti. Les résultats obtenus sont donc compréhensibles. Le fait que la classe 8, la plus rapide mais présentant le plus fort taux de pertes, fournisse un mauvais service à TCP est également compréhensible puisque, comme nous l'avons vu dans la section précédente, cette classe peut subir un taux de pertes avoisinant les 100%, ce qui est rédhibitoire.

Cela rejoint clairement le modèle théorique exposé précédemment. On remarque en effet facilement que les performances de TCP en pratique suivent la même évolution que celles calculées théoriquement. Si l'on souhaite réellement comparer le modèle théorique aux mesures effectuées, la figure 7 présente l'évolution conjointe des rapports des débits de chaque classe par rapport à la classe 1 en fonction de leur coefficient en délai.

On observe donc que les résultats expérimentaux sont en accord avec la loi théorique d'évolution des performances, au moins pour l'ordre de grandeur des performances de chaque classe et la position du maximum de performances. Il est néanmoins clair que lorsque la différenciation augmente, les résultats expérimentaux

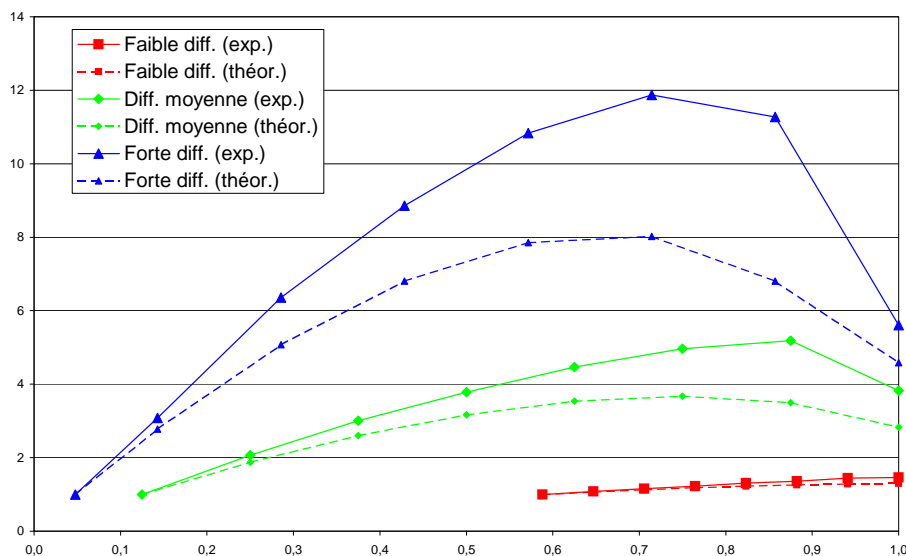


FIG. 7 – Comparaison des rapports théoriques et expérimentaux des débits de TCP sur EDS par rapport à la classe 1 en fonction du coefficient en délai des classes

sont de moins en moins proches de la courbe théorique. Nous pouvons supposer que cela peut provenir de deux phénomènes. D'une part, il est possible que le taux de pertes des classes élevées ne soit pas aussi important qu'attendu par le réglage des coefficients. On peut également penser que la modélisation ne tient pas compte de certains mécanismes récents de TCP qui améliore ses performances par rapport à la modélisation (simplification du comportement de TCP, modélisation du profil des pertes, *etc.*).

4 Conclusion et perspectives

Nous avons pu évaluer théoriquement et pratiquement les performances de TCP standard sur une couche réseau implémentant le modèle de service EDS. Il resterait à approfondir la comparaison entre le modèle théorique et l'évaluation pratique, notamment pour expliquer le facteur apparaissant entre les performances théoriques et pratiques.

Il ressort pourtant de cette évaluation que, bien que le modèle ne prévoit pas de classe réservée pour TCP, il existe parmi toutes celles proposées une classe fournissant de meilleures performances à ce protocole. Malheureusement, le choix de la classe n'est pas immuable et dépend à la fois de la configuration du routeur et de l'environnement « hors EDS ». Ces paramètres ne sont a priori pas connus de la couche de transport.

Même si nous avons pu montrer que la couche de transport TCP actuelle fonctionne sur une couche réseau EDS, ce n'est pas le but premier de la proposition EDS. Elle inclue en effet aussi un protocole dédié, basé sur TCP et changeant dynamiquement de classes pour satisfaire une contrainte (délai borné par exemple). Ce protocole est en cours de développement et d'évaluation dans NS-2 [4] et sera ensuite développé et expérimenté dans Linux.

Références

- [1] Benjamin Gaidioz and Pascale Primet. Propositions pour une différenciation de services équitable dans Internet. In *De Nouvelles Architectures pour les Communications (DNAC)*. Paris, France, November 2001.
- [2] Benjamin Gaidioz and Pascale Primet. EDS : A new scalable Service Differentiation Architecture for Internet. In *Proceedings of International Symposium on Computer Communication (ISCC) 2002*, pages 777–782, Taormina, Italy, July 2002. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE).
- [3] M. Mathis, J. Semke, and J. Mahdavi. The Macroscopic Behavior of the TCP Congestion Avoidance Algorithm. *Computer Communications Review*, 27(3), July 1997.
- [4] Network Simulator NS-2 web site. <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>.

- [5] Pascale Primet, Benjamin Gaidioz, and Mathieu Goutelle. Implementation of IP Proportional Differentiation with Waiting-Time Priority and Proportional Loss Rate dropper in Linux. Rapport de Recherche RR-4511, INRIA Rhône-Alpes, July 2002. <http://www.inria.fr/rrrt/rr-4511.html>.



Unité de recherche INRIA Rhône-Alpes
655, avenue de l'Europe - 38330 Montbonnot-St-Martin (France)

Unité de recherche INRIA Lorraine : LORIA, Technopôle de Nancy-Brabois - Campus scientifique
615, rue du Jardin Botanique - BP 101 - 54602 Villers-lès-Nancy Cedex (France)

Unité de recherche INRIA Rennes : IRISA, Campus universitaire de Beaulieu - 35042 Rennes Cedex (France)

Unité de recherche INRIA Rocquencourt : Domaine de Voluceau - Rocquencourt - BP 105 - 78153 Le Chesnay Cedex (France)

Unité de recherche INRIA Sophia Antipolis : 2004, route des Lucioles - BP 93 - 06902 Sophia Antipolis Cedex (France)

Éditeur
INRIA - Domaine de Voluceau - Rocquencourt, BP 105 - 78153 Le Chesnay Cedex (France)
<http://www.inria.fr>
ISSN 0249-6399